

Übertragung von Signalen auf elektrischen Leitungen

Eine kurze Zusammenfassung

Sven Schmidt

12. April 2025

Um elektrische Energie für die verschiedensten Situationen des täglichen Lebens verwenden zu können, muss sie unter Minimierung von Verlusten vom Erzeuger zum Verbraucher transportiert werden. Dazu verwendet man elektrische Leiter, die sich u.a. in ihrer Materialzusammensetzung und geometrischer Anordnung unterscheiden. Wir betrachten ausschließlich den Transport elektrischer Energie auf einfachen Zweidrahtleitern.

Fließt in einem elektrischen Leiter ein Strom, dann bildet sich um ihn herum auch ein magnetisches Feld aus. Ändert sich der Strom mit der Zeit, wie es z.B. bei Wechselstrom der Fall ist, dann ändert sich mit ihm das magnetische Feld. Ein zeitlich variierendes magnetisches Feld verursacht ein elektrisches Feld, das mit dem des Leiters wechselwirkt und induzierte Gegenspannung genannt wird. Das zwischen zwei Leitern ausgebildete elektrische Feld ändert sich ebenfalls mit dem zeitliche veränderlichen Strom. Dies führt analog zum Ausbilden eines magnetischen Feldes, welches mit dem des Leiters wechselwirkt. Die Maxwellsche Theorie beschreibt zeitlich variierende elektrische und magnetische Felder. Diese breiten sich als elektromagnetische Wellen in alle Raumrichtungen gleichermaßen aus. Insbesondere dienen elektrische Leiter dazu, die Ausbreitung dieser Wellen zu kontrollieren um elektrische Energie zu transportieren.

Wir betrachten zunächst den einfachsten Fall einer elektromagnetische Wellen als sinusförmige Schwingungen fester Frequenz. Da die Frequenzen der auftretenden Wellen im Bereich 50-60Hz liegen, sind ihre Wellenlängen entsprechend groß – sie liegen im Bereich von mehreren Kilometern. Der Querschnitt der betrachteten Leiter ist sehr viel kleiner als die Wellenlängen. Dies führt dazu, dass wir von der Lösung der Maxwellschen Gleichungen absehen können und die Gleichungen zum Beschreiben elektromagnetischer Wellen in elektrischen Leitern der einfacheren Methode der Ersatzbilder herleiten können, die sich aus der Anwendung der Kirchhoffschen Regeln ergeben.

Dies führt auf die sogenannten Telegraphenleitungen, die die Spannung und Strom entlang eines verlustbehafteten elektrischen Leiters in Abhängigkeit von Ort und Zeit beschreiben. Dies sind partielle Differentialgleichungen erster Ordnung, die sich i.A. nur numerisch gelöst werden können.